



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

(87) EP 0 321 127 B1

(10) DE 38 82 347 T 2

(51) Int. Cl. 5:  
G 01 C 9/00  
F 41 G 5/20

DE 38 82 347 T 2

(21) Deutsches Aktenzeichen: 38 82 347.0  
 (86) Europäisches Aktenzeichen: 88 311 438.1  
 (86) Europäischer Anmeldetag: 2. 12. 88  
 (87) Erstveröffentlichung durch das EPA: 21. 6. 89  
 (87) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: 14. 7. 93  
 (47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 27. 1. 94

(30) Unionspriorität: (22) (33) (31)  
16.12.87 GB 8729382

(73) Patentinhaber:

The Secretary of State for Defence in Her Britannic  
Majesty's Government of the United Kingdom of  
Great Britain and Northern Ireland, Whitehall,  
London, GB

(74) Vertreter:

Beetz, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.;  
Siegfried, J., Dipl.-Ing.; Schmitt-Fumian, W., Prof.  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Mayr, C.,  
Dipl.-Phys.Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

(84) Benannte Vertragstaaten:

AT, BE, CH, DE, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL, SE

(72) Erfinder:

Algar, Robert Michael., Fareham, Hants., GB; Falzon,  
Joseph Saviour., Hayling Island, Hants., GB

- Variante von Waggensetzen  
- Asymmetrische Waggensetze  
Plattform aufwärts, die  
Leitplatte in Nullposition und  
die Linienelemente gleich  
parallel auf Null position sind

(54) Elektronisches Neigungsmesssystem.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 38 82 347 T 2

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Messen der relativen Neigung einer Anzahl von Plattformen gegenüber einer Bezugsebene, z.B. für Waffenplattformen an Bord eines schwimmenden Schiffes.

Um ein Ziel mit Erfolg zu erfassen, zu lokalisieren, zu identifizieren, anzugreifen und zu zerstören, ist für ein Schiffswaffensystem wesentlich, daß der Grundabgleich aller Waffen- und Sensorplattformen richtig ist. Folglich wird eine Einrichtung benötigt, die fähig ist, die relativen Neigungen zwischen den Ausrüstungsplattformen auf einem schwimmenden Schiff genau zu messen. Da während der gesamten Lebensdauer eines Kriegsschiffes von Schiffsbauern und Schiffswerften Arbeiten ausgeführt werden, ist es ferner notwendig, daß die relativen Neigungen der Ausrüstungsplattformen bezüglich der Schiffshauptbezugsebene oft gemessen und korrigiert werden können. Wenn eine relative Neigung zwischen den Ausrüstungen besteht, entstehen daraus Fehler in der Richthöhe und der Zielausrichtung der Waffen.

Die Neigung von Waffenausrüstungen ist als der Winkel definiert, um den ihre Drehebenen relativ zueinander oder bezüglich der Schiffshauptbezugsebene geneigt sind. Diese Bezugsplattform ist üblicherweise nahe der neutralen Nick- und Rollachsen des Schiffes und parallel zur berechneten Wasserlinie angeordnet. Die Größe der Neigung ist als maximale Schrägstellung des Ausrüstungsträgers relativ zur Ebene der Bezugsplattform definiert, wobei die Richtung dieser Neigung bezüglich der Längslinie des Schiffes definiert ist (z.B. 1,5 Winkelminuten bei einer Peilung von 45° Backbord).

Wenn eine relative Neigung zwischen den Ausrüstungen besteht, verändern sich die beim Abgleichen der Waffen entstehenden Fehler in Abhängigkeit von der Richthöhe und der Peilung der Ausrüstungen. Wenn die Ausrüstung auf die relative Neigungspeilung ausgerichtet wird, ist der Richthöhenfehler maximal und gleich dem Neigungswinkel, wobei der Zielausrichtungsfehler gleich Null ist, während der Richthöhenfehler gleich Null und der Zielausrichtungsfehler proportional zum Tangens des Richthöhenwinkels der Ausrüstung ist, wenn die Ausrüstung im rechten Winkel zur relativen Neigungspeilung ausgerichtet ist. Dieser Zielausrichtungsfehler wächst mit der Richthöhe der Ausrüstung, wobei er bei einer Richthöhe von  $45^\circ$  dem Neigungswinkel gleich und bei höheren Richthöhen ausgeprägter wird. Für andere Peilungen als diese längs oder quer zur relativen Neigungspeilung bestehen Fehler sowohl in der Richthöhe als auch in der Ausrichtung.

Um wünschenswerte Systemgenauigkeiten zu erreichen, ist es notwendig, die relativen Neigungswinkel zwischen den Ausrüstungen entweder durch mechanische Korrekturen oder durch Korrekturen mittels Computersoftware bis unter vorgeschriebene Grenzen zu verringern. Dies ist besonders für Ausrüstungen mit großen möglichen Richthöhenwinkeln geeignet.

Eine Technik zum Messen des Waffensystemabgleichs ist im US-Patent Nr. 4,531,299 beschrieben. Diese benutzt Sensoren, die die Winkelstellung erfassen und auf den Waffen- oder Radarträgern eines Schiffes angebracht sind. Einer der Träger ist als Bezugsebene des Schiffes ausgezeichnet, mit der alle anderen Träger verglichen werden. Die Ausgangswerte der Sensoren werden in einen Differenzverstärker eingegeben, der die Differenz zwischen den verschiedenen Trägern und dem Bezugsebenenträger liefert.

Ein extremes Tiefpaßfilter (0,02 Hertz) wird zum Ausfiltern der langsamen Rollbewegung des Schiffes verwendet. Die Verwendung einer differenzierenden Technik führt zu Fehlern, da die Linearbeschleunigungen durch Schiffsbewegungen nicht an allen Stellen gleich sind. Ferner ist die Ausfilterung der langsamen Rollbewegung selbst eine potentielle Quelle für Ungenauigkeiten und die Technik ist auf relativ ruhige See und auf große, stabilere Schiffe beschränkt.

Eine weitere Technik zum Messen von Neigungen von Waffenplattformen, die von Schiffswerften und Schiffsbauern verwendet wird, erfordert es, daß das Schiff in einem Dock in einer stabilen Stellung auf Kiel gelegt wird, jedoch gerade noch wasserumspült bleibt, bevor mit einer Neigungsprüfung begonnen wird. Die ist notwendig, um die Bewegung des Schiffes einzuschränken, damit Messungen mit Blasenklinometern möglich sind. Die Beanspruchung des Schiffes muß soweit wie möglich der unter Fahrt entsprechen, während alle Bewegungen an Bord auf minimal gehalten werden müssen. Neigungsringe (für Plattform-Einstellungen) werden auf Null gesetzt, wenn sie aufgesetzt sind.

Ein 6°-Blasenklinometer wird anfangs auf eine zweckmäßig starre Stelle auf jeder zu prüfenden Ausrüstung parallel zur Längslinie des Schiffes gelegt. Jedes Klinometer ist auf einen speziellen 3°-Keil gesetzt, um sicherzustellen, daß alle Ablesewerte während der Prüfung positiv sind.

Ein Hauptklinometer ist auf einen tragbaren Drehtisch gesetzt, der an einer geeigneten Stelle des Schiffes, von der aus Kommunikation mit allen zu prüfenden Waffenplattformstationen möglich ist, aufgestellt und auf die horizontale Ebene eingestellt ist.

Der tragbare Drehtisch wird gleichzeitig mit der zu prüfenden Ausrüstung in 10°-Schritten von 0° bis 360° ausgerichtet. Für jeden 10°-Schritt justiert zuerst der Operateur in der Hauptposition sein Klinometer, bis die Blase zentriert ist. Dann drückt er einen Klingeltaster, der in allen Außenstationen eine Klingel läutet, damit die Klinometer-Ableser in den Plattformstationen ihre Klinometer justieren können, bis alle Blasen mit dem Hauptklinometer synchronisiert sind. Jede Bewegung auf dem Schiff während dieser Zeit macht eine Wiederholung des Vorganges für diese Peilung erforderlich. Wenn alle Stationen berichten, daß ihre Klinometer mit dem Hauptklinometer übereinstimmen, werden die Werte abgelesen und aufgezeichnet und die Ausrüstung wird auf eine neue Peilung ausgerichtet.

Während der Prüfung wird der Ablesewert des Hauptklinometers bei identischen Peilungen von den Ablesewerten der Ausrüstungsklinometer abgezogen, wobei für jede Ausrüstung eine Sinuskurve erzeugt wird, um Fehler in einzelnen Ablesewerten oder eine schwerwiegende Unebenheit in der Rollenbahn aufzuzeigen.

Zum Abschluß des Versuches werden die Differenzen zwischen den Klinometerablesewerten für jedes Paar von sich ergänzenden Peilungen in einer radialen Skizze in der Richtung aufgetragen, in der der höchste Ablesewert auftrat. Durch diese Punkte wird dann ein am besten angepaßter Kreis gezeichnet, von dem die Größe und die Richtung der Neigung gemessen werden kann. Diese gemessenen Neigungen werden dann in ein weiteres Neigungsdiagramm übertragen, um eine Bestimmung der relativen Neigungen zwischen den Ausrüstungen zu ermöglichen. Danach werden Korrekturen durch Justieren der Neigungsringe der Ausrüstungen, soweit vorhanden, vorgenommen, worauf eine weitere Neigungsprüfung in den Haupthimmelsrichtungen

ausgeführt wird, um die restliche Neigung zu bestimmen, welche dann in die Waffensystem-Computersoftware eingegeben wird.

Diese Neigungsprüfungstechnik ist, obwohl wirkungsvoll im Erreichen des Endergebnisses, sowohl ineffizient als auch aufwendig im Einsatz von Arbeitskraft und Material. Sie zwingt den begrenzt verfügbaren Dockeinrichtungen aufgrund der Erfordernis, ein Schiff im Dock für eine Dauer von bis zu 5 Tagen wasserumspült auf Kiel zu legen, eine ernsthafte Belastung auf. Diese Schwierigkeiten heben den Bedarf an einer Einrichtung hervor, die fähig ist, Waffenabgleichverfahren auf einem im Hafen schwimmenden Schiff durchzuführen. Eine solche Einrichtung würde es ermöglichen, daß Neigungsprüfungen wie und wann immer erforderlich durchgeführt werden können, und dies bei einem Bruchteil der Kosten der herkömmlichen Technik.

Eine alternative Einrichtung verwendete ein Elektro-Nivellierinstrument statt des herkömmlichen Blasen-Nivellierinstrumentes. An jeder Ausrüstung wurde ein Elektro-Nivellierinstrument angebracht und die Ausgangswerte aller Elektro-Nivellierinstrumente wurden voneinander abgezogen, um für jede Ausrüstung Neigungsmeßwerte zu erhalten. Die Elektro-Nivelliereinrichtung bringt jedoch eine sperrige und schwere Ausrüstung mit sich, ist schwierig zu bedienen und neigt dazu, ungenau und unzuverlässig zu sein.

Die Aufgabe der Erfindung ist, eine Einrichtung zum Messen relativer Neigungen zwischen verschiedenen Plattformen bezüglich einer gegebenen Bezugsplattform zu schaffen, wenn die Plattformen Bewegungen unterworfen sind.

Eine besondere Aufgabe der Erfindung ist, ein Neigungsmesssystem zu schaffen, das auf einem schwimmenden Schiff zum Messen und Korrigieren der relativen Neigungen der Waffen- und Sensorsysteme des Schiffes auf verschiedenen Ausrüstungsplattformen verwendet werden kann.

Die Erfindung schafft ein System zum Messen der relativen Neigung einer oder mehrerer Plattformen gegenüber einer gegebenen Bezugsplattform, mit wenigstens einem Neigungsmesser pro Plattform einschließlich der Bezugsplattform und dadurch gekennzeichnet ist, daß sie ferner umfaßt:

- a) Einrichtungen zum Mitteln jedes Neigungsmesser-Ausgangs über eine synchronisierte Zeitdauer; und
- b) einen Computer, der für den Empfang aller Neigungsmesser-Ausgangswerte nach der Mittelung ausgelegt und für das Errechnen des Neigungswinkels jeder Plattform und des Neigungswinkels irgendeiner Plattform bezüglich irgendeiner anderen Plattform programmiert ist, wobei er ferner auch für die Anzeige des Ergebnisses ausgelegt ist.

Vorteilhaft ist eine zentrale Steuerstelle vorgesehen, die vorteilhaft Einrichtungen zur Anzeige der über eine synchronisierte Zeitdauer gemittelten Neigungsmesser-Ausgangswerte als Ablesewerte umfaßt.

Ein Neigungsmesser ist ein Meßwertaufnehmer, der von der Einrichtung zum Bestimmen der Neigung von Plattformen verwendet wird. "Neigungsmesser" ist der Name, der einen Niedrigbereich-Beschleunigungsmesser bezeichnet, welcher aufgrund seiner großen Empfindlichkeit gegenüber Änderungen der Schwerkraftbeschleunigung als ein Neigungsgeber verwendet werden kann. Der für die Verwendung in der Erfindung bevorzugte Typ ist ein monolithischer geregelter Gleichstrom-Kräftevergleich-Neigungsmesser. Dieser

Sensortyp ist für die Erfindung geeignet, weil er eine flexibel unterstützte Drehmomentausgleichseinrichtung enthält, die hart genug ist, um ernsthaften Schocks und Vibrationen zu widerstehen und der dennoch eine hervorragende Genauigkeit aufrechterhält. Die monolithische Elektronik und der Sensor sind vorteilhaft in ein abgedichtetes Gehäuse eingeschlossen, das den Betrieb bei hoher Feuchtigkeit und salzhaltiger Luft ohne Funktioneinbuße erlaubt.

Jeder Neigungsmesser besitzt vorteilhaft eine eingebaute Temperaturkompensation, was dessen Betrieb über einen weiten Temperaturbereich ohne nennenswerte Auswirkung auf die Genauigkeit erlaubt.

Vorzugsweise befindet sich auf jeder Plattform nur ein Neigungsmesser.

Vorzugsweise befindet sich auch auf der gegebenen Bezugsplattform ein Neigungsmesser.

Neigungsmesser sind in erster Linie Bauelemente zur statischen Messung der Neigung. Folglich wird bei Verwendung in einer dynamischen Situation auf einem schwimmenden Schiff der Ausgangswert jedes Bauelementes durch alle Linearbeschleunigungen beeinflußt, die es längs seiner sensitiven Achse erfährt. Der Ausgangswert ist deshalb zu jedem Zeitpunkt die algebraische Summe irgendeiner statischen Neigung bezüglich der Schwerkraft und der Beschleunigungskomponente aufgrund der Schiffsbewegung.

Wenn zwei Neigungsmesser differenzierend verwendet werden, um die relative Neigung zwischen Ausrüstungsplattformen wie bei einer Neigungsprüfung zu bestimmen, entstehen Meßfehler, weil die durch die Schiffsbewegungen verursachten Linearbeschleunigungen nicht an allen Orten

gleich sind. Wenn die aufgezeichneten Ausgangswerte von an unterschiedlichen Stellen montierten Neigungsmessern verglichen werden, werden nennenswerte Abweichungen beobachtet. Die mechanische Steifheit der unterschiedlichen Schiffsteile wirkt sich auf die in den Antworten enthaltene Frequenz aus. Folglich sind die relativen Größen der Beschleunigungen an den zwei Orten von ihrem Frequenzinhalt ebenso abhängig wie von deren entsprechenden Höhen über dem Rollzentrum des Schiffes.

Die Meßwerte werden durch Mittelung jedes Neigungsmesser-Ausgangswertes über eine synchronisierte Zeitspanne abgeleitet. Dies wird vorzugsweise elektronisch ausgeführt. Die bevorzugte Einrichtung ist ein integrierender Zweiflanken-Analog/Digital-Umsetzer. Zweckmäßig wird eine Mittelungsdauer zwischen 10 und 20 Sekunden verwendet, da dies bis auf wenige Winkelminuten wiederholbare Anzeigewerte erzeugt. Der resultierende Anzeigewert stellt die mittlere Schrägstellung bezüglich dem Schwerkraftvektor über die Meßdauer dar, während die algebraische Summe irgendwelcher zweier Orte die relative Neigungsmessung bei einer gegebenen Peilung darstellt. Der Anzeigewert wird vorzugsweise als Winkel angegeben.

Die Mittelung der Ausgangswerte ist verwendbar, weil der Unterschied in den Beschleunigungsauswirkungen zwischen irgendwelchen zwei Orten aufgrund einer grundsätzlichen Ähnlichkeit der Neigungsmesserausgänge und deren sinusartiger Eigenschaft gegen Null geht, wenn über eine Zeitspanne gemittelt wird, die wesentlich größer als die Periode der Schiffsbewegungen ist.

Die Einrichtung in der zentralen Steuerstelle zum Anzeigen der Ablesewerte ist vorzugsweise eine Anzeigeneinheit, die als Hauptanzeigeneinheit oder MDU bezeichnet werden kann. Die MDU enthält für jeden Neigungsmesser

eine Anzeige, zweckmäßig eine LED oder Flüssigkristallanzeige, auf der der gemittelte Ablesewert jedes Neigungsmessers für eine besondere Meßposition angezeigt wird. Die Anzeigen sind zweckmäßig so geeicht, daß sie Winkelminuten mit einer Nachkommastelle anzeigen (d.h. mit einer Auflösung von 6 Winkelsekunden). Vorzugsweise enthält die MDU zur Erzeugung der Signale elektronische Schaltungen, um ein über eine festgelegte Zeitspanne gemitteltes Signal zu erhalten, wobei die Zeitspanne für alle Neigungsmesser synchronisiert wird.

Das System enthält vorzugsweise Einrichtungen zum Eichen der Anzeigen, um Temperaturveränderungen auszugleichen. Die Eicheinrichtungen enthalten vorteilhaft eine oder zwei temperaturstabile Spannungsquellen.

Der Computer ist für das Errechnen der Neigungswinkel jeder Plattform relativ zur Bezugsplattform programmiert. Das Programm verwendet vorteilhaft ein Iterationsverfahren, um in allen Peilungen, in welchen für jede Ausrüstung Werte aufgenommen werden, für die aufgezeichneten Daten eine "optimal angepaßte" Sinuskurve zu erzeugen. Vorzugsweise ist der Computer auch für das Errechnen der relativen Neigung jeder Plattform bezüglich jeder anderen ausgewählten Bezugsplattform programmiert.

Die gegebene Bezugsplattform kann eine besonders geeignete Schiffshauptbezugsebene oder eine ausgewählte der Schiffsausrüstungsplattformen oder irgendeine andere anders bestimmte Bezugsebene sein.

Zwischen den Plattformen und der zentralen Steuereinheit ist vorteilhaft eine Kommunikationseinrichtung vorgesehen. Vorzugsweise wird ein eingebautes Kommunikationssystem mit einer Drahtverbindung verwendet, die durch die für die Verbindung der MDU mit den entfernt aufgestellten

Neigungsmessern verwendeten Kabel läuft. Alternativ kann eine batteriebetriebene Wechselsprecheinrichtung verwendet werden. In einigen Fällen, z.B. an Bord eines Schiffes, ist es möglich, schon vorhandene Kommunikationseinrichtungen zu verwenden, wobei in diesen Fällen die Neigungsprüfungsausrüstung keine Kommunikationseinrichtung enthalten braucht.

Optional kann der Neigungsmesser auf jeder Plattform mit einer lokalen Anzeige verbunden sein, um den Ablesewert dieses Neigungsmessers anzuzeigen.

Auf die Erfindung wird als elektronisches Neigungs-Meßsystem (ETMS) Bezug genommen.

Ferner schafft die Erfindung ein Verfahren zur Messung der relativen Neigung einer oder mehrerer Plattformen bezüglich einer bestimmten Bezugsplattform oder einer beliebigen anderen Plattform, das folgende Schritte enthält:

- 1) Aufstellen wenigstens eines Neigungsmessers auf einer oder jeder Plattform und auf der gegebenen Bezugsplattform;
- 2) Anschließen jedes Neigungsmessers an eine zentrale Steuereinheit;
- 3) Ausrichten aller Plattformen auf eine gemeinsame Peilung;
- 4) Ablesen der Meßwerte jedes Neigungsmessers in der zentralen Steuereinheit und Mitteln jedes Meßwertes über eine synchronisierte Zeitspanne;
- 5) Eingeben der Ablesewerte in einen Computer;

- 6) Ausrichten der Plattformen auf eine weitere Peilung;
- 7) Wiederholen der Schritte 4) bis 6) so oft wie erforderlich;
- 8) Bestimmen des Neigungswinkels und des relativen Neigungswinkels bezüglich irgendeiner anderen Plattform aus den Eingabedaten für jede Plattform mittels eines geeigneten Computerprogramms; und
- 9) Anzeigen oder Ablesen der Ergebnisse.

Die Plattformen können auf jede geeignete Anzahl von Peilungen ausgerichtet werden. Das kann zweckmäßig 36 sein, wobei jede Plattform in 10°-Schritten bewegt wird. Eine kleinere Anzahl von Peilungen wie z.B. 12 kann ausreichen, um annehmbare Ergebnisse zu erzielen, da jedoch die Zeitersparnis minimal ist, wird vorgezogen, mehr Ergebnisse aufzunehmen, da eine größere Anzahl von Ablesewerten ein genaueres Bild der Neigung der Plattform ergibt.

Die Ablesewerte der Meßwerte der Neigungsmesser können über einen Datenbus direkt in einen Computer eingegeben werden. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, Anzeigen der Ablesewerte in die MDU einzubauen, obwohl es vorteilhaft sein kann, solche Anzeigen einzusetzen, um das Benutzervertrauen des Systems zu steigern und eine Überwachung des Prüfungsfortschrittes zu ermöglichen. Alternativ können die Ergebnisse angezeigt, von einem Bediener gelesen und manuell in einen Computer eingetippt werden.

Wenn die Prüfung für alle Peilungen vollständig ist, werden die Daten vom Computer analysiert. Vorzugsweise

wird auf einem vom Computer gesteuerten Sichtgerät für jede Ausrüstung eine "optimal angepaßte" Sinuskurve angezeigt.

Um die relativen Neigungen zu verringern, können an den einzelnen Plattformen Justierungen vorgenommen werden. Zusätzlich oder alternativ können für ein Schiffswaffensystem die resultierenden Neigungen in eine Schiffswaffensystem-Computersoftware eingegeben werden, um die in der Funktion des Systems vorzunehmenden Korrekturen für die relativen Neigungen einzuberechnen.

Die Erfindung wird nun beispielhaft mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, von denen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild eines elektronischen Neigungs-Meßsystems (ETMS) zeigt;

Fig. 2 ein Blockschaltbild eines einzelnen Kanals des ETMS von Fig. 1 genauer zeigt;

Fig. 3 a & b zeigen, wie Neigungsfehler auftreten, wenn die Ausrüstung auf die relative Neigungspeilung bzw. im rechten Winkel zur relativen Neigungspeilung ausgerichtet ist;

Fig. 4 eine typische Sinuskurvenaufzeichnung von Messungen einer Waffenplattform zeigt; und

Fig. 5 eine typische relative Aufzeichnung von relativen Neigungen dreier Waffenplattformen bezüglich einer Bezugsplattform zeigt.

Fig. 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines elektronischen Neigungs-Meßsystems. Das Basissystem umfaßt Neigungsmesser 1a,b,c und d, eine Hauptanzeigen-

einheit 2, Verbindungskabel 3a,b,c und d und einen Computer 4.

Ein typischer handelsüblicher Neigungsmesser 1 ist ein extrem genaues Bauelement, das auf Winkeländerungen von nur 0,1 Winkelsekunden reagiert und eine Nenn-Linearität von 0,05% des Skalenendwertes aufweist. Der Neigungsmesser 1 ist ein geregelter Beschleunigungsmesser, der nach dem Prinzip einer mit einem Freiheitsgrad pendelnd aufgehängten Masse arbeitet, die auf eine Anregung längs ihrer sensitiven Achse reagiert, durch die die Masse zur Bewegung veranlaßt wird. Ein Stellungssensor erfaßt diese winzige Bewegung und erzeugt ein Ausgangssignal, das demoduliert, verstärkt und zur Gegenkopplung einem an die Masse gekoppelten elektrischen Drehmomentgenerator eingespeist wird. Der Drehmomentgenerator entwickelt proportional zu dem ihm eingespeisten Strom ein Drehmoment, das gerade das Drehmoment ausgleicht, das infolge der Beschleunigungsanregung versucht, die Masse zu bewegen, wodurch eine weitere Bewegung der Masse verhindert wird. Dieser Strom, der das gleich große und entgegengesetzte Drehmoment erzeugt, ist deshalb proportional zu dem Produkt aus dem Trägheitsmoment (eine Konstante) und der Beschleunigung. Wenn dieser Strom durch einen stabilen Widerstand geschickt wird, ist die an dem Widerstand abfallende Spannung proportional zur eingeprägten Beschleunigung.

Das Neigungsmesser-Ausgangssignal ist folglich ein direkt zum Neigungswinkel proportionales analoges Gleichstromsignal. Der Arbeitsbereich des gewählten Bauelementes ist mit  $\pm 1^\circ$  angegeben, für den sich der Gleichstromausgang  $\pm 5$  Volt annähert, obwohl es einen nutzbaren Arbeitsbereich von bis zu  $\pm 3^\circ$  besitzt. Die bisher durchgeführten Versuche haben jedoch gezeigt, daß der Bereich von  $\pm 1^\circ$  für die Durchführung einer Neigungsprüfung auf einem schwimmenden

Schiff mehr als ausreichend ist, da sich die Schiffsvertikale normalerweise innerhalb von  $\pm 30$  Winkelminuten bewegt.

Der normale Arbeitsmodus des Neigungsmessers dient der statischen Messung der Neigung einer Oberfläche. Wenn er an Bord eines Schiffes verwendet wird, das aufgrund des Seeganges einer dauernden oszillierenden Bewegung unterworfen ist, ist das Ausgangssignal ein zeitlich veränderlicher Winkel. Unter diesen Umständen ist die Genauigkeit des Neigungsmesserausgangs von seinen dynamischen Eigenschaften abhängig. Bei einer typischen Frequenzantwort eines solchen Bauelementes, das sich wie ein gedämpftes Einfachpendel mit einer charakteristischen Eigenfrequenz verhält, ändern sich sowohl die Amplitude als auch die Phase des gemessenen Ausgangssignals, wenn die Frequenz der Grundanregung wächst.

Die relativen dynamischen Eigenschaften aller Neigungsmesser ist eine potentielle Quelle für Ungenauigkeiten, eine Spektralanalyse des Neigungsmesser-Ausgangs bei sinusförmiger und sprungförmiger Anregung bestätigen jedoch, daß die Bandbreite des Neigungsmessers mehr als 3 Hz beträgt, was als weit genug über der maximalen Frequenz der Schiffsbewegung von 0,5 Hz liegend betrachtet wird, auf die die Neigungsmesser in der vorliegenden Erfindung reagieren müssen. Die sinusförmige und die sprungförmige Grundanregung wurden zuerst in einer statischen Stellung im Labor eingeprägt. Bei Verwendung an Bord eines Schiffes besteht die weitere Schwierigkeit, daß die Bewegung eine Beschleunigungskomponente im Neigungsmesser-Ausgangssignal erzeugt. Die relativen Antworten der Neigungsmesser auf diesen Effekt wurden durch Vergleich der analogen Aufzeichnungen untersucht, welche von zwei nebeneinander montierten Neigungsmessern unter schwierigen Bedingungen an Bord eines schwimmenden Schif-

fes stammen. Für den Vergleich wurden an einer Vielzahl von Orten auf dem Schiff und bei verschiedenen Höhen über dem Rollzentrum des Schiffes Aufzeichnungen gemacht. Die Aufzeichnungen waren nahezu identisch, so daß bestätigt wurde, daß die Neigungsmesser-Antworten ähnlich waren.

Die einzelnen Neigungsmesser-Antworten zeigten, daß bis zu der interessierenden Frequenz von 0,5 Hz die Amplitude ihrer Ausgangssignale mit einer kleinen Phasenverschiebung zwischen den Extrema konstant ist. Diese Phasenverschiebung würde proportional zu der Größe der Schiffsbewegung einen Fehler durch verschiedene Anzeigewerte erzeugen, wenn an zwei oder mehr Orten gleichzeitig Messungen vorgenommen würden, da jedoch eine Mittelungstechnik angewandt wird, sind alle entstehenden Fehler unbedeutend.

Die Hauptanzeigeneinheit (MDU) 2 ist die Hauptsteuerstelle, von der aus die Neigungsprüfung koordiniert wird. Die MDU 2 enthält für jeden Außenstellen-Neigungsmesser 1a,b,c,d vier Flüssigkristallanzeigen 5a,b,c,d mit einer (nicht gezeigten) zugehörigen Anzeigen-Treiberschaltung für jede Anzeige. Die Anzeigen 5 sind für die Anzeige von Winkelminuten auf eine Nachkommastelle geeicht (d.h. eine Auflösung von 6 Winkelsekunden).

Fig. 1 zeigt eine Anzahl von anderen in die MDU integrierten Merkmale:

a) eine Anzeigen-Einfrierschalter 6 - dieser erlaubt ein gleichzeitiges Einfrieren aller Anzeigen des Systems, mit einer gesonderten Lampe 7 zur Anzeige des momentanen Zustandes;

b) eine Integrationslampe 8 - diese zeigt optisch an, daß eine Integrationsphase stattfindet;

- c) eine Anzeigen-Ableselampe 9 - diese zeigt an, daß eine Ablesung der Anzeigen für eine gegebene Peilung vorgenommen werden kann;
- d) ein Rücksetzschalter 10 - dieser schaltet die Anzeigen-Ableselampe 9 aus;
- e) ein Anzeigen-Prüfschalter 11 - dieser setzt alle Anzeigewerte auf -188,8, um ihre korrekte Funktion zu überprüfen;
- f) einen Kommunikationseingang 12 - dies ist die Eingangsbuchse für ein (nicht gezeigtes) Kommunikationssystem zu allen Außenstellen;
- g) einen Gleichstromversorgungs-Schalter 13 - zum Einschalten der (nicht gezeigten) Stromversorgungen.
- h) ein Kalibrierschalter 14 - dieser erlaubt es, alle Anzeigen gleichzeitig zu eichen. Während des Kalibrierens (Schalterstellungen +, -, 0) wird ein schneller Aktualisierungsmodus verwendet (über eine Zeitspanne von 0,3 Sekunden). Während einer Neigungsprüfung wird ein langsamer Aktualisierungsmodus verwendet (über eine Zeitspanne von 64 Sekunden). Während dieser 64 Sekunden findet für alle Anzeigen eine synchronisierte Integrationsphase über 1000 Abtastwerte, das entspricht 16 Sekunden, statt, in der der gemittelte Gleichstrompegel des Neigungsmesser-Ausgangs für jeden Ort bestimmt und angezeigt wird;
- i) Prüfstromeingänge 15 - die eine externe Überprüfung der Kalibrierung erlauben; und

j) Einstellregler 16a,b,c,d - diese erlauben ein Abstimmen der Anzeigen, damit diese korrekte Ablesewerte ergeben, wenn sie kalibriert sind.

Einzelheiten des Vorausgegangenen werden nicht angegeben, da diese offensichtlich sind.

Die Ausgangssignale der Neigungsmesser 1a,b,c,d werden von der MDU über eine Datenverbindung 17 und eine Schnittstelle 18 zum Mikrocomputer 3 weitergeleitet. Der Mikrocomputer 4 ist für das Analysieren der Meßdaten programmiert. Ein vollständiger Datensatz kann durch diese Einrichtung unmittelbar nach Abschluß der Neigungsprüfung in wenigen Minuten analysiert werden, im Gegensatz zu einer Verzögerung von mehreren Stunden bei Verwendung herkömmlicher Techniken.

Der Computer errechnet zuerst die gemessene Neigung jeder Waffenplattform, indem er unter Verwendung eines Iterationsverfahrens für alle Peilungen eine "optimal angepaßte" Sinuskurve durch die aufgezeichneten Daten erzeugt. Er erstellt eine verstärkte graphische Darstellung der Amplitudenunterschiede zwischen den aufgezeichneten Werten und dem Wert der Sinuskurve aller Peilungen. Er erzeugt außerdem die normalerweise eher anerkannten Radialdiagramme.

Daraufhin errechnet der Computer die relative Neigung jeder Waffenplattform entweder bezüglich der gegebenen Hauptbezugspunkt oder bezüglich irgendeiner ausgewählten Hauptplattform.

Es ist wünschenswert, daß das ETMS möglichst autonom ist, um die Anforderungen an Schiffsausrüstung und -personal zu verringern. Folglich ist im System eine Kommunikati-

onsverbindung zu allen Stellen enthalten (aber hier nicht gezeigt).

Die Genauigkeit des Systems ist abhängig von der Größe der Meßfehler. Diese sind abhängig von der Genauigkeit der verwendeten Bauelemente, deren Temperaturstabilität, Kalibrierung und Schaltungsauslegung.

Temperatureffekte sind möglicherweise die größte Fehlerquelle in den elektronischen Schaltungen, jedoch kann eine sorgfältige Auslegung den Großteil der Probleme beseitigen. Die Neigungsmesser 1 besitzen zwei potentielle Temperatureffekte, d.h. einen Skalen-Temperaturkoefizienten von 0,02% pro °C und einen Nullpunkt-Temperatur-Koeffizienten von 0,05% des Skalenendwertes pro °C, diese sollten jedoch bei normalem Gebrauch keine Bedeutung haben.

Die MDU 2 kann für weitere Neigungsmesser-Ablesewerte durch eine "einstechbare" Erweiterungseinheit 19 erweitert werden, die hier mit acht weiteren Kanälen gezeigt ist. Diese Einheit enthält acht weitere Anzeigen 5e bis 51, ähnlich den Anzeigen 5a bis 5d, welche die den Neigungsmessern 1e bis 11 entsprechenden Ablesewerte anzeigen.

In Fig. 2 ist ein Blockschaltbild eines einzelnen Kanals der ETMS genauer gezeigt. Die Anordnung erlaubt zwei verschiedene Meßverfahren. Beim ersten werden die Neigungsmesser-Ausgangswerte durch einen integrierenden Zweiflanken-A/D-Umsetzer 20 gemittelt und auf den Anzeigen 5 angezeigt. Die angezeigten Ablesewerte können dann manuell in den Computer 4 eingegeben werden. Beim zweiten Verfahren werden die Ausgangswerte der Neigungsmesser 1 bei jeder Orientierung über eine Datenverbindung 17 und eine Schnittstelle 18 an den Computer 4 weitergereicht

und unter Verwendung eines Computer-Abtastverfahrens gemittelt. Die gemittelten Ergebnisse werden dann vom Computer 4 gespeichert, der für die Berechnung der Neigungen bereit ist.

Vor Beginn einer Neigungsprüfung werden die Anzeigen 5 mittels einer Kalibrierschaltung 21 bei Betriebstemperatur unter Verwendung einer temperaturstabilen Spannungsquelle 22 kalibriert, indem  $\pm 60,0$  Winkelminuten abgelesen werden. Dies ist ein sehr einfaches und dennoch genaues Kalibrierverfahren für das System und es besitzt den zusätzlichen Vorteil, daß die elektronischen Schaltungen überprüft werden. Das Endergebnis ist, daß die Temperaturfehler der Anzeige nahezu beseitigt werden.

Die Ausgangsspannung der temperaturstabilen Quelle 22 wird für das Kalibrieren der Anzeigen 5 verwendet. Sie ist aus dem Neigungsmesser-Ausgangswert für  $\pm 1$  Grad bei  $22^{\circ}\text{C}$  abgeleitet. Wenn der Neigungsmesser bei  $0^{\circ}\text{C}$  verwendet wird, beträgt sein Ausgangsfehler aufgrund des Skalenfaktor-Temperaturkoeffizienten 16 Winkelsekunden (Skalenendwert  $\times 0,02\% \times ^{\circ}\text{C-Änderung}$ ). Die Größe dieses Fehlers bewegt sich innerhalb der vom System geforderten Nenngenaugigkeit, kann jedoch durch die Computersoftware falls nötig korrigiert werden.

Der Nullpunkt-Temperaturkoeffizient (Skalenendwert  $\times 0,05\% \times ^{\circ}\text{C-Änderung}$ ) ist ein Maß der Verschiebung am Gleichstromausgang des Neigungsmessers aufgrund der Temperatur bei Nullneigung. Wegen der während der Neigungsprüfung verwendeten Meßtechnik beeinflußt ein Gleichstrom-Offset wie dieser nicht die Meßgenauigkeit, indem dafür gesorgt wird, daß die Temperatur während der Prüfung fast konstant bleibt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Temperaturveränderungen klein sind, selbst wenn

dies jedoch nicht so wäre, wären irgendwelche entstehenden Fehler bedeutungslos.

Wie gezeigt, ist die Größe der Temperaturfehler, bezogen auf den Vollausschlag des Neigungsmessers in Winkelgraden, klein. Diese Fehler werden jedoch in Anbetracht der Neigungsprüfungstechnik unbedeutend. Reziproke Peilungen werden aufgenommen und algebraisch addiert, um eine radiale Darstellung zu erzeugen. Deshalb heben sich die Fehler gegenseitig praktisch auf, da beide Ablesewerte mit dem Temperaturfehler behaftet sind, so daß nur der entstehende Ablesewertunterschied zwischen ihnen fehlerbehaftet ist und da dieser selten mehr als ein paar Winkelminuten beträgt, beträgt die Größe irgendwelcher Temperaturfehler im ungünstigsten Falle wenige Winkelsekunden.

Die Genauigkeit der Teilkomponenten wurde in Laborexperimenten untersucht. Diese haben gezeigt, daß die Meßgenauigkeit eines einzelnen statischen Ablesewertes in der Größenordnung von  $\pm 6$  Winkelsekunden liegt. Die Ungenauigkeiten aufgrund der meisten Teilkomponenten des Systems sind für eine Betrachtung zu klein.

Die größten Quellen für Meßfehler sind die Neigungsmesser, die eine Nennlinearität von  $\pm 0,05\%$  besitzen, was nahezu  $\pm 2$  Winkelsekunden für ihren vollen Ausgangsbereich von  $\pm 1$  Grad ausmacht, sowie die LED-Anzeigen, die eine Auflösung von einer Stelle oder 6 Winkelsekunden aufweisen.

Für eine genaue Messung muß mit einer genauen Kalibrierung des Gerätes begonnen werden. Die statische Kalibrierung der vier Neigungsmesser der Fig. 1 wurde periodisch zwischen den Neigungsprüfungen überprüft. Diese Überprüfung wird mit einer sehr einfachen und doch genauen

Technik durchgeführt, die ein geeichtes Sinuslineal und Keile auf einer Plattenoberfläche verwendet, um den Neigungsmesser um extrem genaue Winkel zu kippen. Messungen haben die Wiederholgenauigkeit der Neigungsmesser-Ausgangswerte und die Zuverlässigkeit bestätigt.

Die Fig. 3a und b zeigen das Prinzip der Richthöhen- und Ausrichtungs-Neigungsfehler, wobei die Ebene einer Ausrüstungsrollenbahn auf die Hauptbezugsebene bezogen wird. Wie Fig. 3a zeigt, ist der Richthöhenfehler  $\beta$  maximal und gleich dem Neigungswinkel 0, während der Ausrichtungsfehler Null ist, wenn die Ausrüstung in der relativen Neigungspeilung ausgerichtet ist. Wie Fig. 3b zeigt, ist der Richthöhenfehler  $\beta$  Null, während der Ausrichtungsfehler proportional zum Tangens des Richthöhenwinkels der Ausrüstung ist, wenn die Ausrüstung im rechten Winkel zur relativen Neigungspeilung ausgerichtet ist. Dieser Ausrichtungsfehler wächst mit der Richthöhe der Ausrüstung, erreicht den Neigungswinkel 0 bei einer Richthöhe von 45° und wird bei größeren Richthöhen ausgeprägter. Für andere Peilungen als diese längs oder quer zur relativen Neigungsorientierung bestehen Fehler sowohl in der Richthöhe als auch in der Ausrichtung.

Um die Systemgenauigkeit zu erreichen, müssen die relativen Neigungswinkel zwischen den Ausrüstungen bis unter vorgeschriebene Grenzen zu verringert werden. Dies ist besonders auf Ausrüstungen mit großen möglichen Richthöhen anwendbar, weil der Ausrichtungsfehler mit großen Richthöhen wächst, wie in Fig. 3b gezeigt ist. Die Korrekturen werden mit mechanischen Steuerungen oder mit Computersoftware-Steuerungen erreicht.

Die Neigungsprüfung wird bei längsseits vertäutem Schiff im Hafen durchgeführt. Es gibt keine Einschränkungen

bezüglich der Wetterbedingungen oder allgemeinen Bewegungen an Bord des Schiffes.

Die Hauptanzeigeneinheit (MDU) 2, von der die Prüfung gesteuert wird, ist in irgendeinem geeigneten Dienstraum an Bord des Schiffes aufgestellt, wobei die Kabel 3 zu den außerhalb aufgestellten Neigungsmessern führen. Vor Beginn einer Prüfung wird die Ausrüstung eingeschaltet und den elektronischen Schaltungen eine kurze Aufwärmzeit gegeben, damit die Ausrüstung sich gegenüber der Umgebungslufttemperatur stabilisiert. Die Anzeigen 5 und/oder der Computer 4 werden dann bezüglich der Bezugsquelle 21 kalibriert.

Die Neigungsprüfung beginnt, wenn die Hauptstelle alle Ausrüstungen anweist, eine gemeinsame Peilung anzufahren. Nachdem alle Ausrüstungen die Peilung bestätigt haben, werden die Neigungsmesser-Ausgangswerte in den Computer eingegeben. Wenn der Computer die Ablesewerte aufgenommen hat, zeigt das Programm an, daß die nächste Peilung angefahren werden kann und die Hauptstelle weist alle Ausrüstungen an, sich auf die nächste Peilung auszurichten. Dann werden die Ablesewerte aufgenommen und der Vorgang wird für 36 Peilungen wiederholt.

Bei Abschluß des Versuches werden die Daten vom Computer analysiert, ferner wird für jede Ausrüstung eine optimal angepaßte Sinuskurve angezeigt. Dann wird die relative Neigung zwischen allen Ausrüstungen bezüglich einer ausgewählten Hauptplattform bestimmt.

Fig. 4 zeigt eine typische durch einen Computer berechnete Sinusdarstellung der gemessenen Neigung für eine Waffenausrüstungsplattform an Bord eines Schiffes. Jeder Ablesewert 23 wurde in eine Graphik eingetragen, deren x-Achse 24 von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  eingeteilt ist. Die Skalierung

der y-Achse 25 hängt vom maximalen Meßwert ab. Von einem Iterationsverfahren wird eine "optimal angepaßte" Sinuskurve 26 erzeugt und in der Graphik dargestellt. Der Computer erzeugt für jede Orientierung eine verstärkte graphische Darstellung 27 (Skalierung  $\pm 120$  Winkelsekunden) des Amplitudenunterschiedes zwischen dem aufgezeichneten Wert und dem Sinuskurvenwert. Diese ergeben eine graphische Darstellung der Ausrüstungsneigungen. Der Computer verarbeitet ferner diese Information, um Neigungswerte jeder Plattform relativ zu einer ausgewählten Hauptplattform zu erzeugen. Danach können mechanisch Korrekturen vorgenommen werden oder die Information kann in die Waffensystemsoftware eingegeben werden, so daß innerhalb der Software Korrekturen gemacht werden können, um die relativen Neigungen aller Ausrüstungen einzurechnen.

Fig. 5 zeigt eine typische vom Computer errechnete Relativdarstellung der zur Erzeugung der Fig. 4 verwendeten Information. Punkt A ist der Bezugspunkt, bezüglich dem die Neigungen der Waffenplattformen berechnet werden. Jeder Punkt B, C und D markiert die maximale Neigung der entsprechenden Waffenplattformen. Folglich besitzt B eine maximale Neigung relativ zur Bezugsplattform A von 2,6 Minuten bei einer Peilung von  $103^\circ$  nach Backbord, während C eine maximale Neigung von 1,4 Minuten bei  $138^\circ$  nach Backbord und D eine maximale Neigung von 0,7 Minuten bei  $039^\circ$  nach Backbord besitzt.

Die gesamte Zeit- und Arbeitersparnis mit ETMS ist beträchtlich. Die Messung und Korrektur der Waffenplattformneigungen kann von einer kleinen Mannschaft innerhalb eines Tages abgeschlossen werden: während die herkömmliche Technik eine große Arbeitskraft bindet und einschließlich Eindocken, auf Kiel legen und Ausdocken 3 bis 5 Tage dauert.

Da die Technik der Erfindung Bewegungseffekte während der Integrationszeitspanne ausmittelt, gibt es keine Begrenzungen und Einschränkungen, wann und wo das System verwendet werden kann, indem die Messungen auf den linearen Bereich der Neigungsmesser beschränkt werden. Aufgrund der Wiederholgenauigkeit der Ablesewerte ist das System auch für andere mögliche Anwendungen auf schwimmenden Schiffen geeignet, bei welchen ein genauer Abgleich zwischen Außenstellen erforderlich ist, z.B. um beim Abgleich der horizontalen Achse eines Theodoliten bezüglich der Schiffshauptebene vor der Verwendung zum Waffenabgleich zu helfen.

Die herkömmlichen Verfahren zu Durchführung von Neigungsprüfungen sind sowohl in bezug auf die Arbeitskraft als auch in bezug auf den Materialaufwand ineffizient. Das ETMS bietet eine Alternative, die schneller, einfach anzuwenden sowie genau ist und eine beträchtliche Ersparnis sowohl bei den Werft- als auch bei den Arbeitskosten darstellt, bei relativ niedrigen Einführungskosten pro System.

Obwohl die Einrichtung in bezug auf eine Vierkanaleinheit mit einer Achtkanal-Erweiterung beschrieben wurde, ist klar, daß jede geeignete Anzahl und alle Anordnungen von Kanälen in einer Einheit verwendet werden können.

Selbstverständlich kann das System jede erforderliche Anzahl von Neigungsmessern enthalten.

Die Erfindung ist nicht auf die Neigungsmessung von Schiffswaffenplattformen beschränkt. Wenn feste Waffenstellungen vorausgesetzt werden, kann sie ebenso z.B. für Kampfflugzeuge und zur Überprüfung der Stellung anderer Ausrüstungen verwendet werden. Sie kann ebenso für die

Überprüfung des Abgleichs von Außenachsen z.B. an langen Wellen oder zum Überprüfen der Achsen von Ausrüstungen wie z.B. von Gyroskopen verwendet werden.

**Patentansprüche**

1. Ein System zum Messen der relativen Neigung einer oder mehrerer Plattformen gegenüber einer bestimmten Bezugsplattform, mit wenigstens einem Neigungsmeßgerät pro Plattform einschließlich der Bezugsplattform und dadurch gekennzeichnet, daß es ferner umfaßt:
  - a) Einrichtungen zum Mitteln eines jeden Neigungsmeßgerät-Ausgangs über eine synchronisierte Zeitperiode; und
  - b) einen Computer, der so beschaffen ist, daß er sämtliche Neigungsmeßgerät-Ausgänge nach der Mittelung empfängt und der so programmiert ist, daß er daraus den Neigungswinkel einer jeden Plattform und den relativen Neigungswinkel einer beliebigen Plattform in bezug auf eine beliebige andere Plattform berechnet und der ferner so beschaffen ist, daß er die Ergebnisse anzeigt.
2. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine zentrale Steuerposition vorgesehen ist, um jeden Neigungsmeßgerät-Ausgang während der synchronisierten Zeitperiode zu mitteln.
3. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß an der zentralen Steuerposition Einrichtungen zum Anzeigen der gemittelten Neigungsmeßgerät-Ausgänge als Ablesewerte enthalten sind.
4. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrich-

tung zum Anzeigen der Ablesewerte an der zentralen Steuerposition eine Haupt-Anzeigeeinheit (MDU) ist, die die elektronischen Schaltungen aufnimmt, um die Signale zu verarbeiten und ein über die gesetzte Zeitperiode gemitteltes Signal zu erzeugen, wobei die Zeitperiode für sämtliche Neigungsmeßgeräte synchronisiert ist.

5. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das System eine Einrichtung zum Kalibrieren der Anzeigen enthält, um Temperaturveränderungen zu kompensieren.

6. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Neigungsmeßgeräte gleichstrombetriebene Festkörper-Neigungssensoren mit geschlossenem Regelkreis mit Kräftvergleich sind.

7. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Neigungsmeßgerät eine eingebaute Temperaturkompensation besitzt.

8. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an der bestimmten Bezugsplattform ein Neigungsmeßgerät vorgesehen ist.

9. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelung der Neigungsmeßgerät-Ausgänge mittels elektronischer Einrichtungen ausgeführt wird.

10. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Mitte-

lungseinrichtung ein Analog-/Digital-Umsetzer mit Zweiflankenintegration ist.

11. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mittlungsperiode zwischen 10 und 20 Sekunden verwendet wird.

12. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer mit einem iterativen Verfahren programmiert ist, um für die aufgezeichneten Daten sämtlicher Peilungen, bei denen für jede Anlage Ablesungen vorgenommen werden, eine "optimal angepaßte" Sinuskurve zu erzeugen.

13. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Computer außerdem so programmiert ist, daß er die relative Neigung einer jeden Plattform in bezug auf eine beliebig gewählte Bezugsplattform berechnet.

14. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Plattformen und der zentralen Steuereinheit eine Kommunikationseinrichtung vorgesehen ist.

15. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Neigungsmeßgerät an jeder Plattform mit einer lokalen Anzeigeeinheit verbunden ist, um die Anzeige dieses Neigungsmeßgerätes darzustellen.

16. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekenn-

zeichnet, daß jedes Neigungsmeßgerät und dessen zugehörige elektronische Ausrüstung in einem dichten Gehäuse eingeschlossen sind.

17. Ein System zum Messen der relativen Neigungen gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Neigungsmeßgeräte auf einem Schiff angebracht sind und daß jeder Neigungsmeßgerät-Ausgang über eine Periode gemessen wird, die erheblich länger als die Periode der Schiffsbewegung ist.

18. Ein Verfahren zum Messen der relativen Neigungen einer oder mehrerer Plattformen gegenüber einer bestimmten Bezugsplattform oder gegenüber einer beliebigen anderen Plattform, mit den Schritten:

- 1) Positionieren wenigstens eines Neigungsmeßgerätes auf der oder auf jeder Plattform und auf der bestimmten Bezugsplattform;
- 2) Verbinden eines jeden Neigungsmeßgerätes mit einer zentralen Steuereinheit;
- 3) Ausrichten sämtlicher Plattformen auf eine gemeinsame Peilung;
- 4) Ablesen der gemessenen Werte von jedem Neigungsmeßgerät an der zentralen Steuereinheit und Mitteln der einzelnen gemessenen Werte über eine synchronisierte Zeitperiode;
- 5) Eingeben der Ablesewerte in einen Computer;
- 6) Ausrichten der Plattformen auf eine weitere gemeinsame Peilung;
- 7) Wiederholen der Schritte 4) bis 6) in der geforderten Anzahl;
- 8) Bestimmen des Neigungswinkels und des relativen Neigungswinkels in bezug auf eine beliebige andere Plattform aus den Eingangsdaten für jede Plattform mittels eines geeigneten Computerprogramms; und

## 9) Anzeigen oder Ablesen der Ergebnisse.

19. Ein Verfahren zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Plattformen auf 36 Peilungen ausgerichtet werden, wobei jede Plattform in 10°-Schritten bewegt wird.

20. Ein Verfahren zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Plattform eine "optimal angepaßte" Sinuskurve auf einer vom Computer gesteuerten optischen Anzeigeeinheit angezeigt wird.

21. Ein Verfahren zum Messen der relativen Neigungen gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ergebnisse der relativen Neigungen dazu verwendet werden, die für die verschiedenen Plattformen auszuführenden Einstellungen zu bestimmen, um die relativen Neigungen zu verringern.

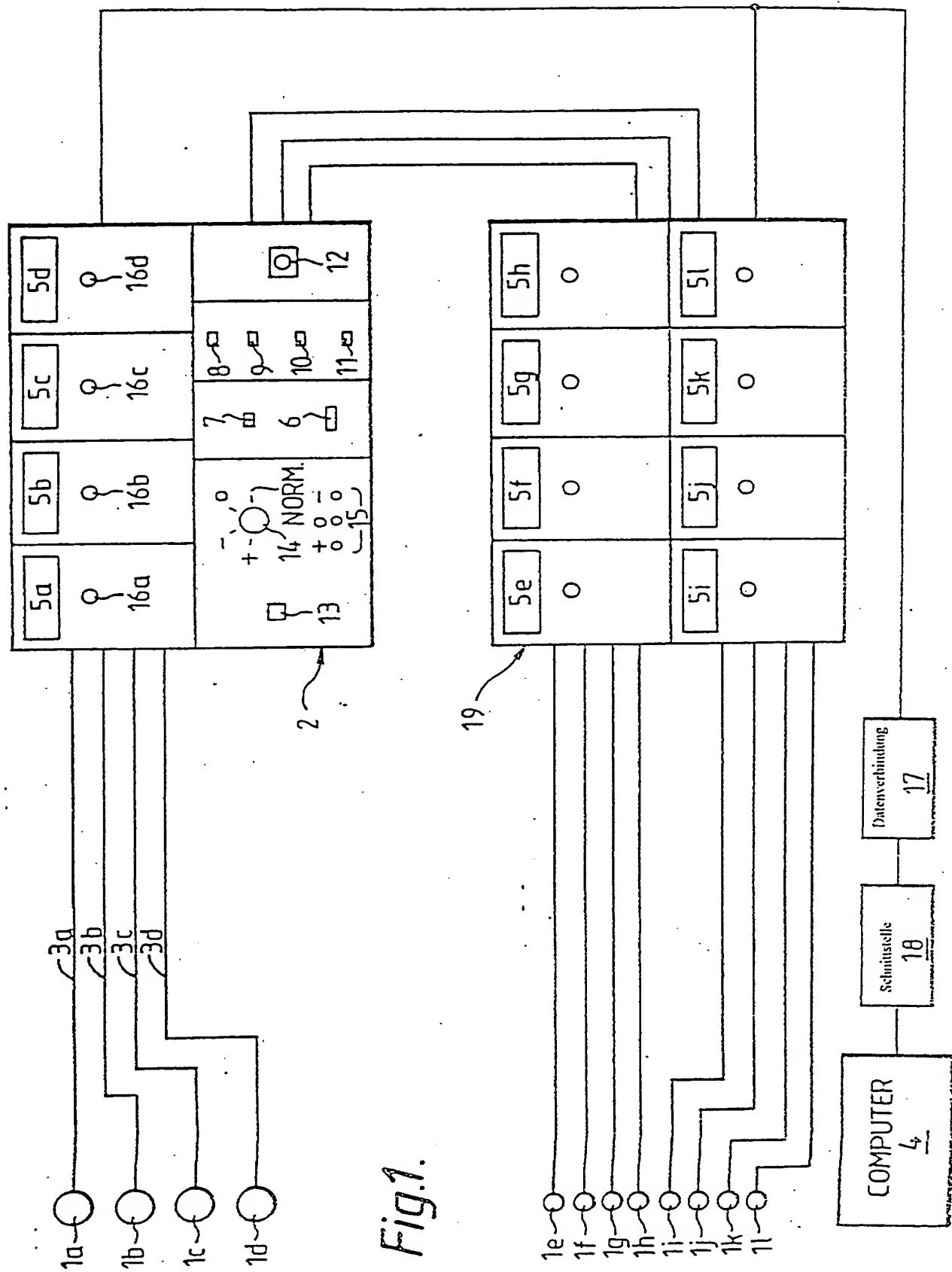
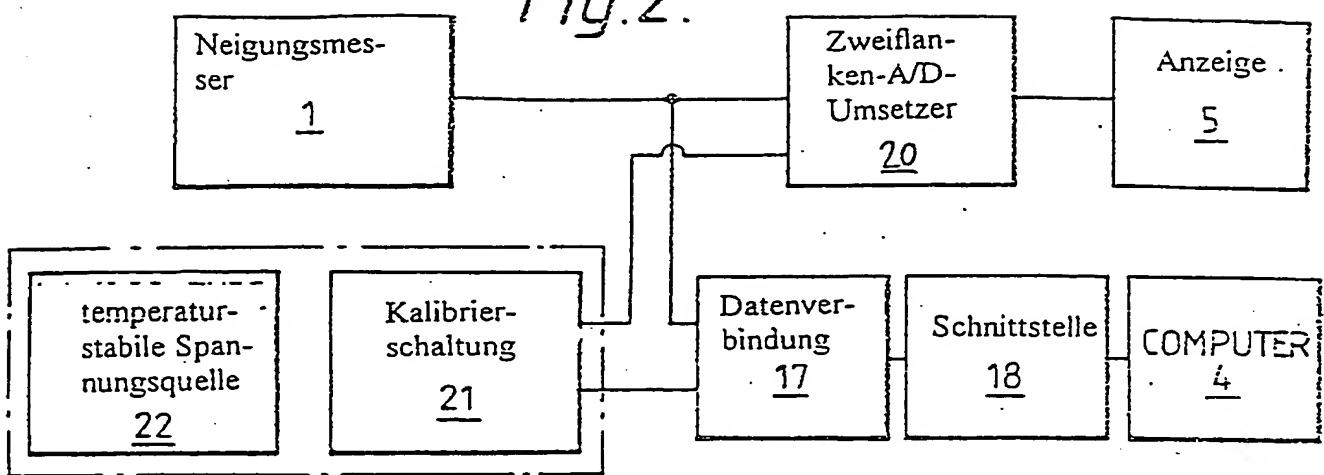


Fig. 2.



Ebene normal zur Hauptbezugsebene  
und Ausrüstungsrollenbahn

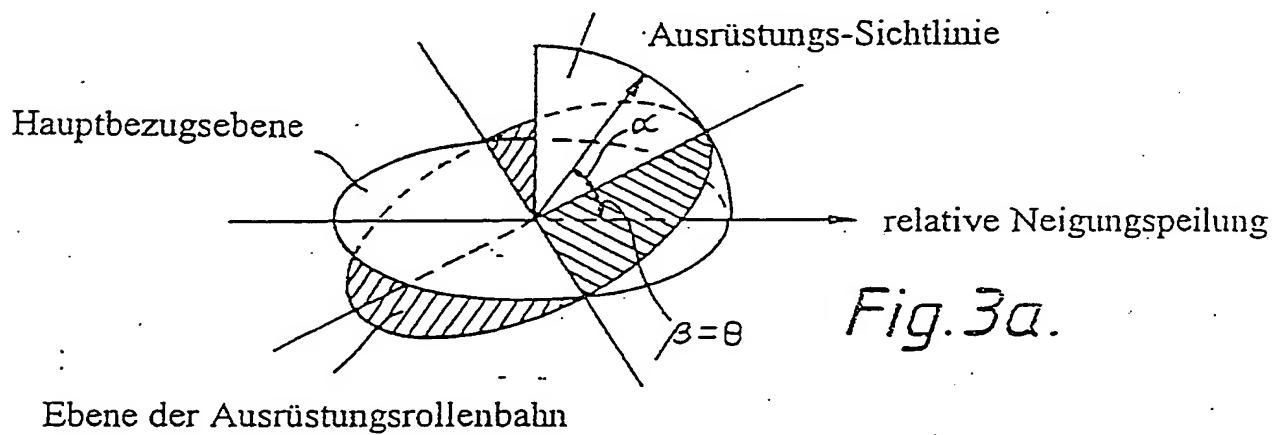


Fig. 3a.

Ebene normal zur Ausrüstungsrollenbahn

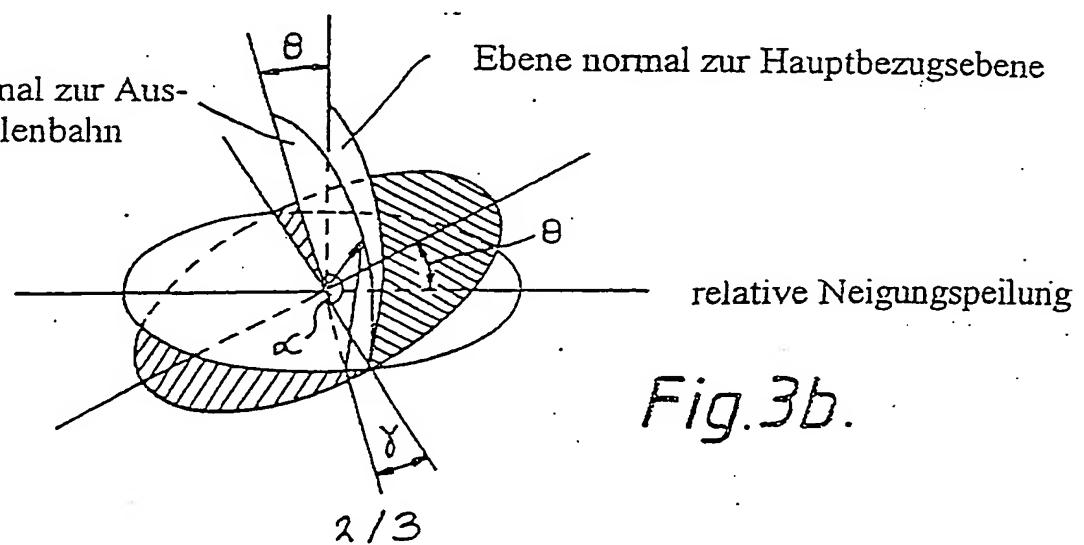


Fig. 3b.

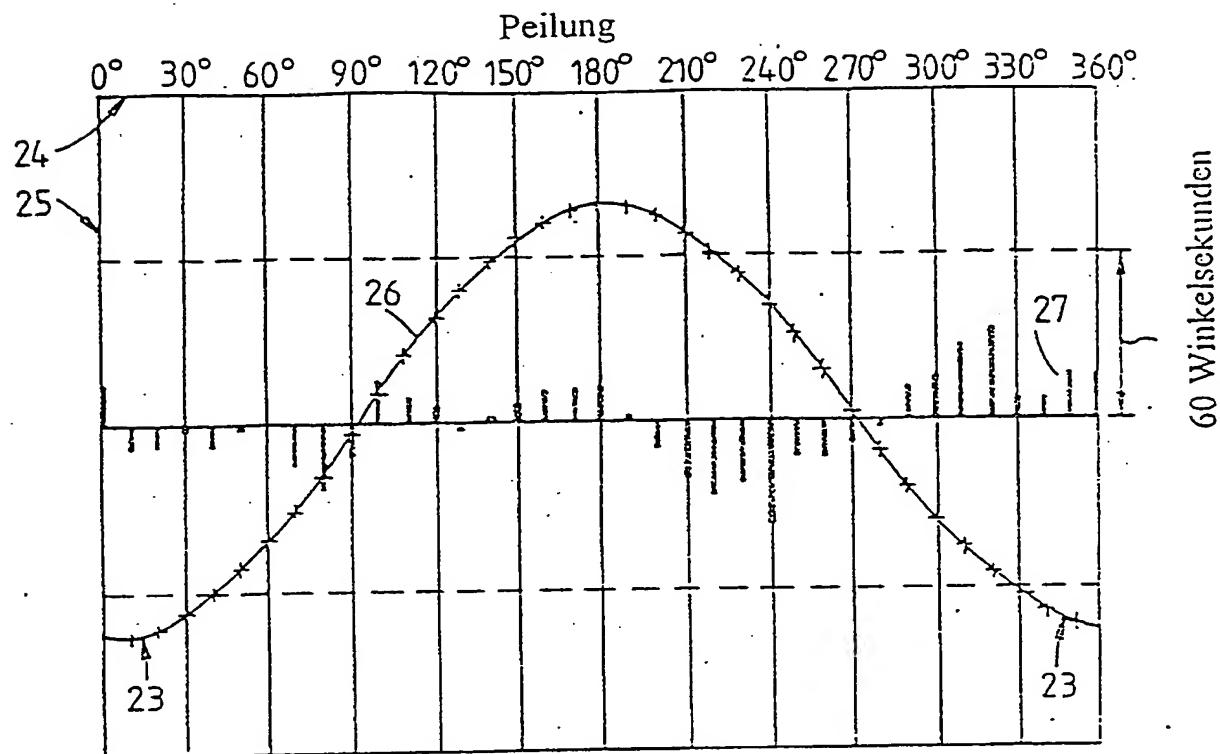


Fig.4. Skalenendwert = + oder - 2 Winkelminuten

Skalierung  
0,5 Minuten  
pro Ring

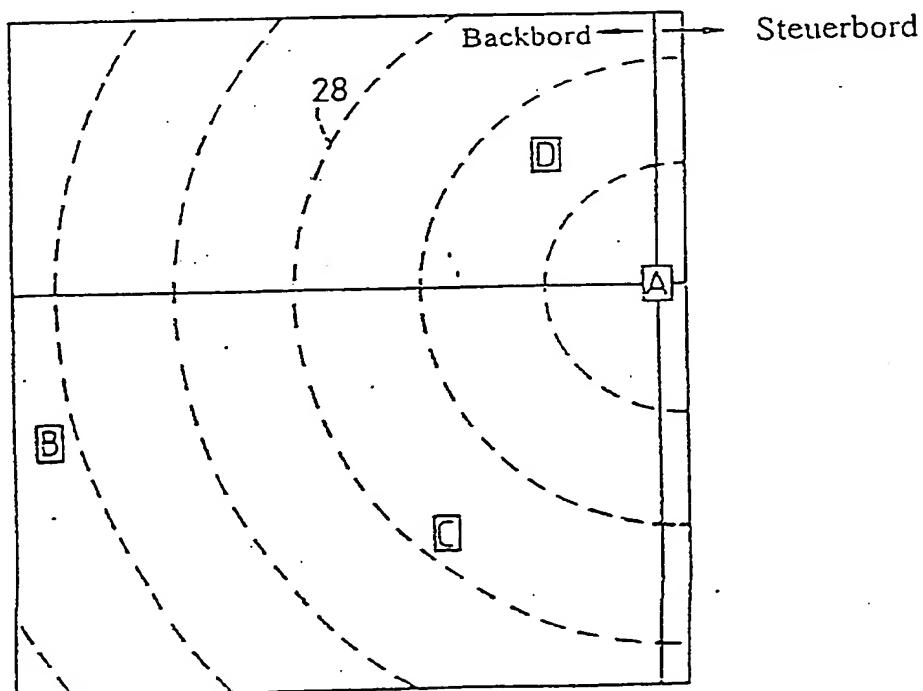


Fig.5.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**